DOI: 10.13930/j.cnki.cjea.170406

刘兴元, 蒋成芳, 李俊成, 沈禹颖. 黄土高原旱塬区果-草-鸡生态循环模式及耦合效应分析[J].中国生态农业学报, 2017, DOI: 10.13930/j.cnki.cjea.170406
Liu X Y, Jiang C F, Li J C, Shen Y Y. Ecological circle way and coupling effect of fruit-grass-chicken mode in dry highlands of the Loess Plateau[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2017, DOI: 10.13930/j.cnki.cjea.170406

黄土高原旱塬区果-草-鸡生态循环模式及耦合效应分析*

刘兴元, 蒋成芳, 李俊成, 沈禹颖
(兰州大学草地农业科技学院/兰州大学草业科学国家级实验教学中心/草地农业生态系统国家重点实验室 兰州 730020)

摘 要: 黄土高原旱塬区生态脆弱, 水资源匮乏, 传统的粮经二元种植模式已严重影响和制约着黄土高原旱塬区农业可持续发展。因此, 应用系统耦合和生态循环理论, 将生态涵养与优质高效生产有机结合, 建立适宜于黄土高原旱塬区资源特征的粮、经、饲三元种植的农业发展模式, 成为实现该区域生态与经济协调可持续发展的关键环节。本文以位于黄土高原中部的甘肃省庆阳市为研究区域, 从该区域的土地资源特征和水热条件出发, 设计了以功能耦合和产业耦合为核心的果-草-鸡耦合的生态循环模式, 对生态循环结构进行了配置, 提出了相应的技术规范, 分析了其耦合效应。试验结果表明: 该模式将果、草、鸡 3 个子系统结合在一起进行耦合生产, 改善了果园系统的物种结构, 提高了农业资源利用率, 使果园系统能量相互转化和循环利用。与传统的清耕果园模式相比, 单位面积的产出利润提高 3.82 倍, 水分利用率提高 54.1%, 水土流失量减少 58.82%, 化肥和农药施用量分别下降 25.24%和 5.56%, 土地资源利用率提高 36.84%, 具有显著的生态、经济和社会效益, 在黄土高原地区具有广泛的应用和推广价值。
关键词: 黄土高原旱塬区; 果-草-鸡耦合系统; 功能耦合; 耦合效益; 生态循环模式
中图分类号: S181; S661.1; S8-9 **文献标识码:** A

Ecological circle way and coupling effect of fruit-grass-chicken mode in dry highlands of the Loess Plateau*

LIU Xingyuan, JIANG Chenfang, LI Juncheng, SHEN Yuying
(College of Pastoral Agricultural Science and Technology, / National Demonstration Center for Experimental Grassland Science Education / State Key Laboratory of Grassland Agro-Ecosystems, Lanzhou University, Lanzhou 730020, China)

Abstract: Because of ecological fragility and lack of water resources, traditional planting mode of grain and industrial crops has severely affected and restricted the sustainable development of agriculture in dry highlands of the Loess Plateau. Thus based on resource characteristics and ecological conditions of dry highlands of the Loess Plateau, a mode for sustainable agricultural development was established based on ternary planting of grain crops, industrial crops and grasses. The mode involved the application of the theory of system coupling and ecological cycle along with the combination of ecological conservation and efficient production. It provided the critical link for the realization of sustainable development of regional ecological and economic co-ordination in dry highlands of the Loess Plateau. Using Qingyang City in the Central Loess Plateau as the study area, an ecological cycle mode of fruit-grass-chicken was designed based on the characteristics of agricultural resources and economic development. Then the cyclic structure of the mode was configured using coupled functionality of industries in Qingyang City. Technical specifications were put forward and the effect of coupling analyzed for Qingyang City. The results showed that the mode output coupling production by the combination of the three subsystems of fruits, grass and chicken. The mode improved species structure of orchard ecosystems, increased utilization rate of agricultural resources, enhanced energy conversion and recycling of the orchard ecosystems. Compared with single orchard cultivation, per-unit-area profit increased by 3.82 times, water use efficiency increased by 54.1%, water/soil erosion decreased by 58.82%, application rate of chemical fertilizers/pesticides decreased by 25.24%/5.56% and utilization rate of land resources increased by 36.84%. Therefore, the established mode had significant ecological and socio-economic benefits, with a wide range of application and promotional values in the Loess Plateau.
Keywords: Dry highland of the Loess Plateau; Fruit-grass-chicken system; Function coupling; Coupling effect; Ecological circle

* 国家"十二五"科技支撑计划项目(2014BAD14B006)资助
刘兴元, 主要从事草地生态经济分析与评价研究。E-mail: liuxingyuan@lzu.edu.cn
收稿日期: 2017-05-04 接受日期: 2017-07-03
* This study was supported by the National Key Technologies R & D Program of China (2014BAD14B006).
Corresponding author, LIU Xingyuan, E-mail: liuxingyuan@lzu.edu.cn
Received May 4, 2017; accepted Jul. 3, 2017

黄土高原旱塬区处于我国干旱半干旱的农牧交错带，是传统的旱作雨养农业地区，干旱少雨，水资源匮乏，生态环境十分脆弱，经济发展相对落后，属不宜大田农耕的“边际”区域[1]。在长期石化农业生产过程中反复的耕翻作业和大量化肥农药的使用，造成水土流失和土地污染严重，土壤肥力下降，干旱灾害频发，土地的生态服务功能生产能力减弱，严重影响和制约着黄土高原旱塬区农业经济的可持续发展[2]。随着我国农业供给侧结构改革以及粮改饲政策的实施，根据黄土高原旱塬区的资源特征，调整传统的粮食作物和经济作物为主的农业种植结构，推行绿色生产方式，修复退化生态环境，优化农业产品结构和产业体系，形成生态涵养与优质高效生产相结合的生态循环结构，对促进黄土高原旱塬区生态建设和农业经济的可持续发展具有重要意义[3-4]。

黄土高原旱塬区是我国重要的农业耕作区和苹果(*Malus pumila* Mill.)生产区，但传统的苹果生产模式以清耕果园为主，土地利用率较低，涵养水源和保水保墒能力差，过分依赖化肥、农药和化学制剂等增产技术，造成果园土壤和空气污染，果品的食用安全性降低，市场竞争力下降[5-6]。因此，重视农业资源高效利用与生态环境保护问题，把生态循环理论应用到农业生产过程中，探索建立适宜于黄土高原旱塬区资源特征的农业经济发展模式成为当前的首要任务。虽然许多研究从农业资源条件、能量循环和生态经济效益等角度开展了农业经济发展模式的研究，如“四位一体”农业循环经济模式、“草-牧-沼-蔬”循环农业模式、种养结合循环生产模式和废弃物再利用型农业循环经济发展模式等[7-9]。但针对黄土高原旱塬区果园循环经济发展的模式还比较少。随着果品产业在黄土高原旱塬区的不断发展，果园生草技术已在果园生产中被推广应用[10]。国内外大量的研究表明，果园生草作为一项先进的生产技术，能提高土壤肥力[11]，降低苹果园气温，增加果园相对湿度[12]，增强天敌对害虫的自然控制作用，减少农药投入和对环境的污染[13]，提高苹果的品质，具有显著的生态和经济效益[14-15]。同时，在果园养鸡，形成种植和养殖有机结合的立体式种养的生态循环模式，不仅适合黄土高原旱塬区气候干燥和水资源少的资源特征，而且在促进果品生产方面具有积极的作用和效果[16]。因此。将果-草-鸡耦合，建立农业资源的复合经营结构，形成高效经营最佳组合模式，能够有效地提高土地、水、肥和光能资源的利用率，使果树、草地和家禽在果园内形成物质的多级循环和能量的扩大流动，实现降低生产成本、提高产品质量和增加产出效益的耦合效应[17-18]。因此，本研究以黄土高原中部的庆阳市为研究区域，从生态涵养和优质高效生产的角度，以功能耦合和产业耦合为核心，设计出一种符合黄土高原旱塬区资源特征的果-草-鸡耦合的生态循环模式，并分析其生态经济的耦合效益，为黄土高原旱塬区农业产业结构调整和农业经济发展提供参考依据。

1　研究区概况

甘肃省庆阳市位于黄河中下游黄土高原中部的沟壑区，介于东经 106°20′~108°45′，北纬 35°15′~37°10′，海拔 885~2 089 m，属温带季风性大陆气候，降水量 382.9~602.0 mm，且多集中在 7—9 月，蒸发量为 520 mm，年平均气温 9.5~10.7 ℃，无霜期 140~180 d，年日照 2 213.4~2 540.4 h，总体呈干旱、温和、光富的特点[19]。由于土地资源利用不合理，自然植被残留较少，水土流失严重，生土裸露，肥力瘠薄，作物生产供水主要依赖于大气降水，是以旱地作物为主的雨养农业区。全市总土地面积 271.19 万 hm^2，其中，粮食作物播种面积 46.44 万 hm^2，果园种植面积 11.45 万 hm^2，分别占该市总土地面积的 17.13%和 4.22%。市内有马莲河和蒲河等 5 条主要河流，总径流量 8.43 亿 m^3。辖 1 区 7 县 116 个乡镇，总人口 256 万。是全国苹果区划的五大优生区之一，已被农业部列入西北黄土高原苹果优势带，苹果产业已成为该区农业的重要支柱产业[20]。但该区农业产业结构单一，生产布局不合理，草地面积小，土壤退化和水土流失严重，果园老化，产业化程度低，农业污染严重[21]，已成为制约其农业高质高效可持续发展的瓶颈。

2　黄土高原旱塬区果-草-鸡生态循环模式设计

2.1　果-草-鸡生态循环模式的结构

植被稀少、流水侵蚀和水土流失严重是黄土高原旱塬区面临的主要生态问题[22]。随着近年来甘肃省庆阳市农业产业结构的调整，土地资源的利用结构也发生了较大的变化，特别是在果业龙头企业的带动下，果园种植面积迅速扩大，耕地面积逐步减少，部分耕地、林地、草地和未利用土地转变为果园，人均园地面积由过去的 0.005 3 hm^2 增至现在的 0.012 hm^2，果园种植面积的增长率达 225%。但是传统的青耕果园模式的土地利用率和水肥利用率都较低，生态和经济效益不高，严重影响着当地果园经济的可持续发展[23-24]。由于黄土高原旱塬区脆弱的生态条件在理论和实践上都不允许开展反复的耕翻种植，只有将生态保护和经济发展有机地结合进行多功能和多产业的耦合经营，才能实现高效高质生产和水土涵养的双赢目标[2]。因此，发展高效生态农业，以保护和改善生态为前提，在果园生草，草地上养鸡，使果、草、鸡形成耦合的生态循环，既能提高土壤肥力、涵养水源、保水保墒，增加果园相对湿度，增强天敌对害虫的自然控制作用，减少农药投入和对环境的污染，又能提高土地利用率、提高果品质量和增加生态与经济效益[15]。本研究依

据高效高质生产和水土涵养相结合的土地利用原则，对庆阳市传统的果园种植结构进行调整，设计果-草-鸡耦合的生态循环模式，形成功能耦合和产业耦合复合体系结构(图 1)，发挥系统耦合的生态经济补偿机制，使土壤养分得到循环利用，有效的水分得到蓄积，减少地面蒸腾，提高水土资源的利用效率，实现农业资源高效利用、降低生产成本、提高产品质量和增加生态经济效益的目标，以促进黄土高原旱塬区生态、经济和社会的协调发展[25]。

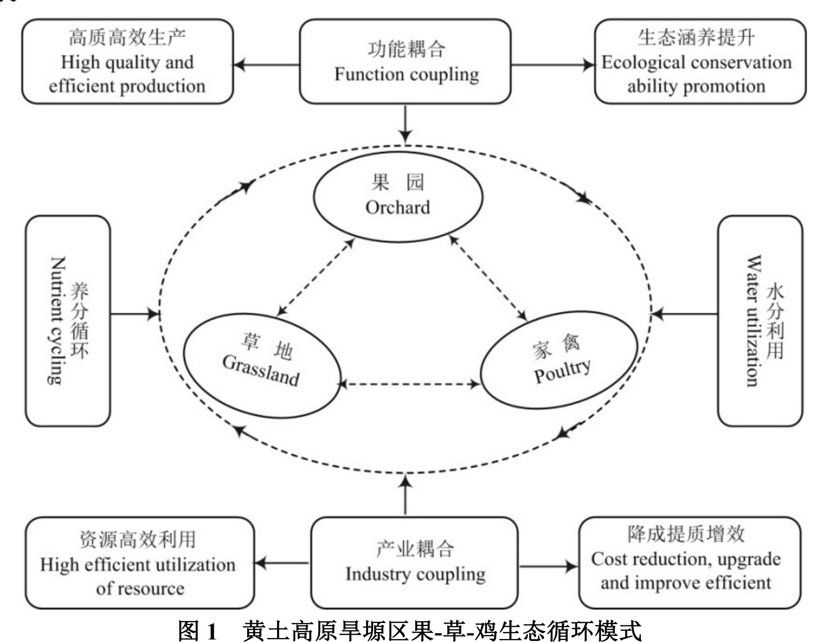


图 1　黄土高原旱塬区果-草-鸡生态循环模式

Fig. 1　Ecological circle mode of fruit-grass-chicken in the dry highland of the Loess Plateau

2.2　果-草-鸡生态循环模式的结构配置

依据庆阳市的土地资源特征和水热条件及果、草、鸡各自的生产要求，对果、草、鸡耦合生产的生态循环结构进行配置(表 1)。通过采用先进的农业生产技术，将资源进行合理有效地配置，建立果、草、鸡耦合生产的生态循环结构，实现高效合理利用水土资源，增加植被覆盖度，提高土地利用率，形成能流、物流、信息流、资源流和价值流耦合，实现果园经济的高效高质生产与生态涵养的协调稳定发展。

表 1　黄土高原旱塬区果-草-鸡生态循环模式的结构配置

Table 1　Structure configuration of ecological circle mode of fruit-grass-chicken in the dry highland of the Loess Plateau

项目 Item	乔化果园 Tree orchard	矮化果园 Dwarf orchard
果树栽植株行距 Fruit tree spacing (m)	2.5 × 4	1 × 2.5
牧草种植方式 Forage planting way	条播 Sowing in strip	撒播 Broadcast sowing
牧草品种组合个数 Varieties number of mixed forage grass	1~2	2~3
鸡养殖密度 Breeding density of chicken (chicken·hm^{-2})	900~1 300	1 000~1 500
牧鸡时间 Grazing time of chicken (d)	150~160	150~160
果树占果园面积比例 Area proportion of fruit trees (%)	34.0	30.0
草地占果园面积比例 Area proportion of grass (%)	60.0	65.5
道路建筑物占果园面积比例 Area proportion of road and building (%)	3.0	3.0
排水系统占果园面积比例 Area proportion of drainage system (%)	1.0	1.5

2.3　果-草-鸡生态循环模式的技术规范

在黄土高原旱塬区建立果-草-鸡生态循环模式，要对果园地规划和果、草、鸡品种选择及生产和管理技术等内容进行规范要求。

1)新建果园选择在坡度<6°的缓坡地，对 3°<坡度<15°的背风向阳丘陵坡地要开挖水平沟，修筑梯田。

2)苹果品种和砧木的选择以适地栽培和市场导向为原则，综合考虑立地条件、苹果品种性状、抗逆性、抗病虫害能力和市场需求，选择苹果树品种和砧木。如：乔化砧木可选择八楞海棠(*Malusro busta* Rehd.)、山定子[*Malus baccata* (Linn.) Borkh.]等，矮化砧木可选择能够抑制形成旺长树、提高生产效率和显著提升果实品质的矮化砧木，如: M26、M9、M7、Mark 和 CG 等。

3)牧草品种选择能够培肥果园土壤、降低果树病虫害、不与果树争水肥、适宜家禽采食，且草地群落稳定性强的牧草品种。如：白三叶(*Trifolium repens* L.)、鸭茅(*Dactylis glomerata* L.)、多年生黑麦草(*Lolium perenne* L.)、草地早熟禾(*Poa pratensis* L.)等。

4)鸡种选择适应性广、抗病力强、采食能力强、抗逆性强、产蛋和产肉量高的地方鸡种或杂交鸡种。

5)新建果园的果树面积与林下生草面积比以乔化果园1.77和矮化果园2.18为宜，光截留分配率0.45~0.5∶0.5为宜。同时，果园按5∶1的比例配置2个以上的授粉品种。

6)草地建植时，按有机肥15 000 kg·hm^{-2}和钙镁磷肥30~45 kg·hm^{-2}施肥，通过翻耕将其翻入土壤中，整平耙细，耕翻深度10~30 cm。牧草组合以白三叶、鸭茅和草地早熟禾(多年生黑麦草)为主，组合比例按30%、30%和40%。播种量按条播30~40 kg·hm^{-2}，撒播39~52 kg·hm^{-2}，播种深度1~2 cm。

7)每年给果树施肥3次，其中，第1次在萌芽前后，以氮肥为主；第2次在花芽分化及果实膨大期，以磷钾肥为主，氮磷钾混合使用；第3次在果实生长后期，以钾肥为主。具体的施肥量根据当地的土壤供肥能力和目标产量确定。果树全年进行叶面喷肥4~5次，其中，在果实生长前期2次，以氮肥为主；在果实生长后期2~3次，以磷、钾肥为主。在果实采收后对果树施基肥，施肥量标准为：幼树每株25~50 kg，结果期树每株50~100 kg。

8)引进2~3种重要的害虫天敌，利用昆虫性外激素诱杀或干扰成虫交配，开展病虫害生物防治，减少农药施用量。

9)牧鸡时间从6月份开始，将6~8周龄的雏鸡在果园草地放养，到10月底移出果园，牧鸡后的牧草留茬高度在0.5~1 cm为宜。

10)在牧草生长旺季，将果园多余牧草刈割，即可发酵沤肥，增加果园土壤肥力，也可作饲喂家畜。

11)在果园草地上每500 m^{2}建10 m^2(5 m×1.5 m×2 m)的简易鸡棚1个，每个鸡棚四周设4~5个补饲槽和2个饮水槽。牧鸡区域的围栏高度在1.5 m以上。

12)果园草地老化后，果园土壤板结，使果树根系分布层变浅，树草争水肥问题严重，要对草地进行更新。

13)根据气象条件变化，调整牧鸡的放牧密度，提高鸡的抗病力。同时，建立生物安全体系，及时接种疫苗，有效控制疫病的传播。

14)建立完整的生产管理档案，对果园各生产环节进行定期的监测分析，及时准确地了解果园的动态变化，以便实施相应的管理与调控对策。

3 果-草-鸡生态循环模式的耦合效应与效益

按表1的果-草-鸡耦合的生态循环模式结构配置，在庆阳市西峰区什社乡兰州大学庆阳黄土高原草地农业生态试验站内，设置了果-草-鸡生态循环模式和清耕果园模式的对比试验区，通过2015年3月—2017年3月的试验结果表明，该模式具有良好的耦合效应和显著的生态、经济和社会效益。

3.1 耦合生产效应分析

果-草-鸡耦合的生态循环模式，通过调整农业资源利用的生态结构、经济结构、技术结构和系统内生产要素的优化配置，变单一物种、单一层次的种植为多物种、多层次复合经营，使果、草、鸡在生产过程中对资源的利用形成了系统的耦合作用，实现了单位面积的耦合经营比单一经营效益增大的目的，其耦合效应主要表现为功能耦合效应和产业耦合效应(图1)。

1)功能耦合效应：果-草-鸡耦合的生态循环模式，首先通过果园生草，提高了植被覆盖率，减少了水土流失，增加了水分蓄积，提高了土壤固炭能力，减少了CO_2的排放量，调节了大气环境，改善了空气质量，实现了生态涵养的功能[15]。第二，可利用豆科牧草的固氮作用，增加土壤肥力，减少化肥施用量。第三，可利用生物的多样性功能，减少农药的施肥用量，提高果品质量。第四，草地牧鸡不仅能生产生态型鸡肉，而且鸡粪和多余牧草返回土壤提高土壤肥力，使土壤养分能够循环利用，既改善和恢复了黄土高原旱塬区的生态环境，又增加了农民的经济收入，是一种高质高效生产和生态涵养有机结合的生态经济发展模式，具有良好的生态、经济和社会效应。

2)产业耦合效应：果-草-鸡耦合的生态循环模式，把果业、草业和家禽业有机融合在一起，使各产业之间形成耦合生产的互补效应，从而改善果园的生产结构，使产业之间优势互补，资源能够充分利用，形成果园生态系统内物质的多级循环和能量的扩大流动，提高了果园单位面积的综合生产水平，实现了果-草-鸡耦合生产的产业耦合效应。

3.2 耦合生产效益分析

通过在兰州大学庆阳黄土高原草地农业生态试验站实施果-草-鸡耦合的生态循环模式的试验研究，土地利用结构和产业结构得到了优化，水土资源利用率显著提高，降低了化肥和农药的施用量，提高了果品质量，取得了显著生态、经济和社会效益，实现了高质高效生产与生态涵养的有机结合和生态与生产的耦

合发展(表 2)。

试验结果表明，与清耕果园相比，果-草-鸡耦合的生态循环模式在生态、经济和社会效益方面均显著提高。其中，在经济效益方面，单位面积苹果产量提高 18.78%，单位面积产值提高 1.88 倍，利润提高 3.82 倍。在生态效益方面，植被覆盖率提高 54.90%，水分利用率提高 117.88%，水土流失量减少 58.82%，水源涵养能力提升 71.36%，0~10 cm 土壤有机质下降 11.87%，0~10 cm 土层中细菌分布增加 4.7%，真菌数量下降 33.4%，化肥施用量下降 20.15%，农药施用量下降 5.27%。在社会效益方面，土地资源利用率提高 58.33%，单位面积产出效率提高 45.45%，果品质量(优质果)提高 5.17%，人均收入贡献率提高 140.00%。

表 2　黄土高原旱塬区果-草-鸡生态循环模式的生态和经济效益

Table 2　Ecological and economic benefits of the ecological circle mode of fruit-grass-chicken in the dry highland of the Loess Plateau

		果-草-鸡生态循环模式 Ecological circle mode of fruit-grass-chicken	清耕果园模式 Clean cultivation orchard mode
经济效益 Economic benefit	苹果单价 Price of apple (¥·kg^{-1})	3.43	3.10
	苹果产量 Apple yield (kg·hm^{-2})	23 477.88	19 766.74
	肉鸡单价 Price of chicken (¥·kg^{-1})	20.00	0.00
	单位产值 Production value (¥·hm^{-2})	176 529.10	61 276.89
	成本 Cost (¥·hm^{-2})	88 015.11	42 900.00
	利润 Benefit (¥·hm^{-2})	88 513.99	18 376.89
生态效益 Ecological benefit	植被覆盖率 Vegetation coverage (%)	96.50	62.30
	水分利用率 Efficiency of water application (%)	78.00	35.80
	水土流失 Water and soil erosion (%)	1.40	3.40
	水源涵养 Water conservation (%)	36.50	21.30
	土壤有机质 Soil organic matter (g·kg^{-1})	8.17	9.27
	细菌分布 Bacterial distribution (%)	8.20	7.83
	真菌分布 Fungal distribution (%)	33.30	50.00
	化肥施用量 Applying quantity of chemical fertilizer (kg·hm^{-2})	1 581.00	1 980.00
	农药施用量 Applying quantity of pesticide (kg·hm^{-2})	3 653.61	3 856.71
社会效益 Social benefit	土地资源利用率 Land resource utilization (%)	95.00	60.00
	单位面积产出效率 The output efficiency per unit area (%)	80.00	55.00
	果品质量(优质果) Fruit quality (high quality fruit) (%)	94.59	89.94
	人均收入贡献率 Per capita income contribution (%)	12.00	5.00

4　结论与讨论

黄土高原旱塬区果-草-鸡耦合的生态循环模式是一种生态与经济协调发展的土地资源高效利用模式。该模式的生态、经济和社会效益指标均高于传统的清耕果园模式。果-草-鸡耦合的生态循环模式把生态涵养与优质高效生产紧密结合在一起，以功能耦合和产业耦合为核心，改善了果园系统的物种结构，提高了农业资源的利用率，通过能量的流动从一个子系统输出变为另一个子系统的输入，各子系统之间的能量相互转化利用，使果园系统具有良好的自我维持能力和系统稳定性，使果、草、鸡系统之间的互补效应衍发为系统的耦合生产效益，与传统的清耕果园生产模式相比，生态、经济和社会效益显著提高，在黄土高原旱塬区具有广泛的应用和推广价值。

目前，黄土高原旱塬区正处于传统的石化农业向现代生态农业的转型期，随着我国农业供给侧结构性改革的逐步深入，传统的粮食作物和经济作物为主的二元种植模式，由于农药和化肥的过剩投入所产生的生态恶化和产品质量低下的问题日益严重，已不适应现代生态农业发展的要求。因此，从国家农业供给侧结构性改革的需求和黄土高原旱塬区的资源特征出发，调整传统的农业种植结构，形成种养结合的生态立体循环结构，建立生态涵养与高质高效耦合的生态农业发展模式，将保护生态、减少污染、生产绿色产品有机结合是黄土高原旱塬区农业可持续发展和生态的必由之路[26]。在黄土高原旱塬区建立果-草-鸡耦合的

生态循环模式，使果树、草地和鸡在空间和时间上构成合理的结构配置，形成功能和产业耦合的能量多级循环和扩大流动，才能实现生态涵养、资源综合利用、产品高质高效生产和增加产出效益的耦合效应[27-28]。

果-草-鸡耦合的生态循环模式在黄土高原旱塬区的推广应用，要采用先进的农业生产技术，走特色、优质和生态环保的农业经济发展道路。根据物种对资源利用的互补性和生物间生态位的差异性，从市场需求出发，培育和发展具有区域优势的土、特、名、优、稀等果、禽品种，按照无公害农产品、绿色食品和有机食品技术规范的要求，生产优质果品和禽类产品。在龙头企业的带动下，形成生产、加工、销售的一体化产业体系[2]。由于在黄土高原旱塬区自然条件存在差异，加之管理水平的不同，不同地区要依据自身的特点，构建符合当地资源特色的生态涵养与高质生产耦合模式。同时，政府在政策、技术、信息和资金上给予倾斜和支持，建立促进生态农业发展的保障机制，以促进黄土高原旱塬区农业生态、经济和社会的可持续发展。

参考文献 References

[1] 程序. 我国西北大开发中生态建设及农业支柱产业的选建[J]. 生态农业研究, 2000, 8(3): 89–91

Cheng X. The ecological construction and the selection of major agro-industry in developing Northwest China[J]. Eco-Agriculture Research, 2000, 8(3): 89–91

[2] 刘兴元, 王锁民, 郭正刚. 半干旱地区农业资源的复合经营模式及生态经济耦合效应研究[J]. 自然资源学报, 2004, 19(5): 624–631

Liu X Y, Wang S M, Guo Z G. The compound management model of agricultural resources and its eco-economic coupling effects in the semi-arid area of Northwest China[J]. Journal of Natural Resources, 2004, 19(5): 624–631

[3]张鹤千, 刘学录. 庆阳市西峰区土地利用结构分析[J]. 中国农学通报, 2014, 30(36): 193–197

Zhang H Q, Liu X L. Analysis of the land use structure in Xifeng District, Qingyang City[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2014, 30(36): 193–197

[4]骆世明. 农业生态转型态势与中国生态农业建设路径[J]. 中国生态农业学报, 2017, 25(1): 1–7

Luo S M. Agroecology transition and suitable pathway for eco-agricultural development in China[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2017, 25(1): 1–7

[5]孙文义, 邵全琴, 刘纪远. 黄土高原不同生态系统水土保持服务功能评价[J]. 自然资源学报, 2014, 29(3): 365–376

Sun W Y, Shao Q Q, Liu J Y. Assessment of soil conservation function of the ecosystem services on the Loess Plateau[J]. Journal of Natural Resources, 2014, 29(3): 365–376

[6] Liu Y, Gao M S, Wu W, et al. The effects of conservation tillage practices on the soil water-holding capacity of a non-irrigated apple orchard in the Loess Plateau, China[J]. Soil and Tillage Research, 2013, 130: 7–12

[7]王钰, 吴发启, 彭小瑜, 等. 黄土丘陵区山地立体种养循环生产能流特征与经济效益分析[J]. 农业工程学报, 2016, 32(S2): 199–206

Wang Y, Wu F Q, Peng X Y, et al. Analysis of economic efficiency and energy flow characteristics of a circular and integrated agriculture model in the Loess hilly region[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2016, 32(S2): 199–206

[8]王火根, 翟宏毅. 农业循环经济的研究综述与展望[J]. 华中农业大学学报: 社会科学版, 2016, (4): 59–66

Wang H G, Zhai H Y. Research review and outlook of agricultural circular economy[J]. Journal of Huazhong Agricultural University: Social Sciences Edition, 2016, (4): 59–66

[9]李文华, 成升魁, 梅旭荣, 等. 中国农业资源与环境可持续发展战略研究[J]. 中国工程科学, 2016, 18(1): 56–64

Li W H, Cheng S K, Mei X R, et al. Study on strategies for the sustainable development of China's agricultural resources and environment[J]. Engineering Sciences, 2016, 18(1): 56–64

[10] 李发林, 郑域茹, 郑涛, 等. 果园生草栽培水土保持效应研究进展[J]. 中国农学通报, 2013, 29(34): 34–39

Li F L, Zheng Y R, Zheng T, et al. Research advances on soil and water conservation effect of pasture-planting in orchard[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2013, 29(34): 34–39

[11]Wardle D A, Yeates G W, Bonner K I, et al. Impacts of ground vegetation management strategies in a kiwifruit orchard on the composition and functioning of the soil biota[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2001, 33(7/8): 893–905

[12]杜善保, 张军科. 黄土高原旱地苹果园生草栽培研究进展[J]. 中国农学通报, 2014, 30(28): 81–86

Du S B, Zhang J K. Research advances of pasture-planting in apple orchard on semi-dry region of the Loess Plateau[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2014, 30(28): 81–86

[13]刘云姮. 草农结合的经济效益研究——基于短期生产理论分析[J]. 草业学报, 2016, 25(2): 223–230

Liu Y H. Analysis of grassland farming systems' economic benefit based on the short-term production model[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2016, 25(2): 223–230

[14]邓丰产. 果园生草的生态效应及在果树上的应用[J]. 北方园艺, 2009, (1): 133–136
Deng F C. Ecological effect and application prospect of growing grass in orchard[J]. Northern Horticulture, 2009, (1): 133–136
[15] 杜丽清, 吴浩, 郑良永. 果园生草栽培的生态环境效应研究进展[J]. 中国农学通报, 2015, 31(11): 217–221
Du L Q, Wu H, Zheng L Y. Review of eco-environmental effect of orchard sod culture[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2015, 31(11): 217–221
[16]王浩, 王益权, 焦彩强, 等. 果园养鸡立体农业生产模式对土壤钙素营养及苹果品质的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2014, 32(4): 178–182
Wang H, Wang Y Q, Jiao C Q, et al. Effects of chicken-raising stereoscopic agriculture in orchards on soil calcium nutrient and apple quality on Weibei Dryland[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2014, 32(4): 178–182
[17]刘苑秋, 郭晓敏, 杜天真, 等. 以籽粒苋为纽带的果园复合生态模式研究[J]. 中国生态农业学报, 2002, 10(4): 118–120
Liu Y Q, Guo X M, Du T Z, et al. Study on compound ecological models of orchard taking grain amaranths as a link[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2002, 10(4): 118–120
[18]尹昌斌, 周颖, 刘利花. 我国循环农业发展理论与实践[J]. 中国生态农业学报, 2013, 21(1): 47–53
Yin C B, Zhou Y, Liu L H. Theory and practice of recycle agriculture in China[J]. Chinese Journal of Eco-agriculture, 2013, 21(1): 47–53
[19] 杨赟, 盖艾鸿. 黄土丘陵沟壑地区土地利用效益评价——以庆阳市为例[J]. 甘肃农业大学学报, 2013, 48(6): 131–134
Yang Y, Gai A H. Evaluation on land use benefits in hilly and gully area of the loess plateau — A case study of Qingyang City[J]. Journal of Gansu Agricultural University, 2013, 48(6): 131–134
[20]马锋旺. 加快西北黄土高原苹果产业发展的思考[J]. 科学种养, 2006, (4): 4–6
Ma F W. Reflect on the development for apple industry in the northwest loess plateau[J]. Scientific of Planting and Breeding, 2006, (4): 4–6
[21] 刘兴元, 沈禹颖, 赵菏. 西北干旱区生态涵养与高质生产耦合的城郊农业发展模式[J]. 草业科学, 2017, 34(3): 644–652
Liu X Y, Shen Y Y, Zhao H. The couple model of ecological conservation and high quality production for urban agriculture of arid areas in northwestern China[J]. Pratacultural Science, 2017, 34(3): 644–652
[22]邓振镛, 张强, 王强, 等. 黄土高原旱塬区土壤贮水量对冬小麦产量的影响[J]. 生态学报, 2011, 31(18): 5281–5290
Deng Z Y, Zhang Q, Wang Q, et al. Influence of water storage capacity on yield of winter wheat in dry farming area in the Loess Plateau[J]. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(18): 5281–5290
[23]李明霞, 杜社妮, 白岗栓, 等. 渭北黄土高原苹果生产中的问题及解决方案[J]. 水土保持研究, 2010, 17(4): 252–257
Li M X, Du S N, Bai G S, et al. Problems and solutions of apple production in Weibei Loess Plateau[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2010, 17(4): 252–257
[24]赵政阳, 李会科. 黄土高原旱地苹果园生草对土壤水分的影响[J]. 园艺学报, 2006, 33(3): 481–484
Zhao Z Y, Li H K. The effects of interplant different herbage on soil water in apple orchards in the area of Weibei Plateau[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2006, 33(3): 481–484
[25] 王淑庆, 张岁岐, 王小林. 黄土塬区不同栽培模式下玉米蒸腾耗水规律的研究[J]. 中国生态农业学报, 2013, 21(4): 432–439
Wang S Q, Zhang S Q, Wang X L. Transpiration of maize under different cultivation patterns in the Loess Tableland[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2013, 21(4): 432–439
[26]张均营, 吴炳奇, 刘亚民, 等. 农林复合生态系统优化模式研究——以河北省饶阳试区为例[J]. 生态农业研究, 1998, 6(3): 55–58
Zhang J Y, Wu B Q, Liu Y M, et al. Optimize models of agro-forestry ecosystem — A case study from Raoyang County of Hebei[J]. Eco-Agriculture Research, 1998, 6(3): 55–58
[27] 朱鹤健, 何绍福. 农业资源开发中的耦合效应[J]. 自然资源学报, 2003, 18(5): 583–588
Zhu H J, He S F. The coupling effects of the exploitation of agricultural resources[J]. Journal of Natural Resources, 2003, 18(5): 583–588
[28] 陈兴鹏, 郭晓佳, 王国奎, 等. 甘肃省中部贫困地区资源-环境-经济系统的耦合演进分析——以定西市为例[J]. 干旱区资源与环境, 2013, 27(11): 1–8
Chen X P, Guo X J, Wang G K, et al. The coupling evolution analysis of resource-environment-economic system in the poor areas of Gansu[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2013, 27(11): 1–8